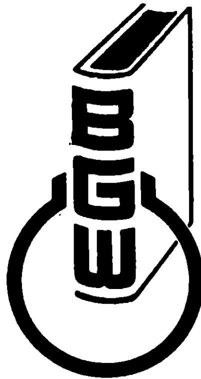
BETRIEBSAKADEMIE



Leuchtstofflampen-herstellung

Lehrmaterial zur Qualifizierung der Werktätigen

Inhaltsverzeichnis

Verfasser: Ingenieur Herbert N e t z e l
Bildmaterial: Gewerbelehrer Fritz R e t t e r
Herausgeber: Betriebsakademie
V E B Berliner Glühlampenwerk

Die Leuchtstofflampe

Bis vor kurzem war die Glühlampe die in den meisten Fällen verwendete Lichtquelle.

Der Nutzeffekt (Lichtausbeute) von Glühlampen, das ist ihr Lichtstrom, gemessen in Lumen, im Verhältnis zur aufgewendeten Leistung in Watt, ist, wirtschaftlich gesehen, verhältnismäßig niedrig.

Diese Tatsache ist darauf zurückzuführen, daß der Glühfaden (Wendel) der Glühlampe den größten Teil seiner Strahlen als Wärmestrahlen aussendet, die nicht sichtbar sind.

Um diese hohen Wärmeverluste weitgehendst herabzusetzen, suchte die Technik nach einer neuen Lichtquelle und es war klar, daß diese Lichtquelle keinen Glühfaden besitzen durfte, wenn ein höherer Nutzeffekt erzielt werden sollte. Die Laboratorien der Lampenfabriken untersuchten die Lichterscheinungen, die beim Leiten eines Stromes durch verdünntes Gas auftreten, entwickelten schließlich die Gasentladungslampe und schufen als neue Lichtquelle die Leuchtstofflampe, die ja auch eine Gasentladungslampe ist.

Bei gleichem Stromverbrauch ist die Lichtausbeute einer Leuchtstofflampe etwa dreimal so hoch wie bei einer Glühlampe. Die langgestreckte Röhrenform bietet große Anwendungsmöglichkeiten. Darüber hinaus kann, dank dieser Form, einerseits die Lichtdichte dieser Lampen so niedrig gehalten werden, daß selbst ein direktes Sehen in diese Lampen nicht unangenehm empfunden wird; andererseits zeigen die Schatten nicht die scharfen Kontraste, die bei der Benutzung punktförmiger Lichtquellen, wie z. B. Glühlampen, auftreten.

Die lichttechnischen Vorteile bei der Verwendung von Leuchtstofflampen faßt man in den Begriff „mildes Licht" zusammen. Darüber hinaus ist die Lebensdauer der Leuchtstofflampen wesentlich länger, als die der Glühlampen.

Durch geeignete Auswahl des Leuchtstoffes hat man weiterhin die Möglichkeit, die Farbe des ausgestrahlten Lichtes unseren Wünschen anzupassen und damit für die Leuchtstofflampe ein weiteres Anwendungsgebiet geschaffen.

Die besonderen Merkmale der Leuchtstofflampe sind also:

Hohe Lichtausbeute
Lange Lebensdauer
Vielseitige Farbenauswahl
Mildes Licht

Diesen sehr günstigen Eigenschaften steht der Nachteil gegenüber, daß die Leuchtstofflampe nur unter Zwischenschaltung eines strombegrenzenden Vorschaltgerätes an das elektrische Netz angeschlossen werden darf, wenn sie nicht sofort zerstört werden soll. Außerdem ist im allgemeinen eine besondere Einrichtung (Starter) zum Zünden der Leuchtstofflampe erforderlich.

Die Fertigung von Leuchtstofflampen

Das Aufbringen der Leuchtstoffschicht in die Lampe

Es gibt im Wesentlichen zwei Methoden des Aufbringens. Eine sogenannte trockene Methode und eine nasse Methode. Die trockene Methode ist sehr kostspielig und läßt sich kaum mechanisieren. Deshalb wenden wir die nasse Methode an.

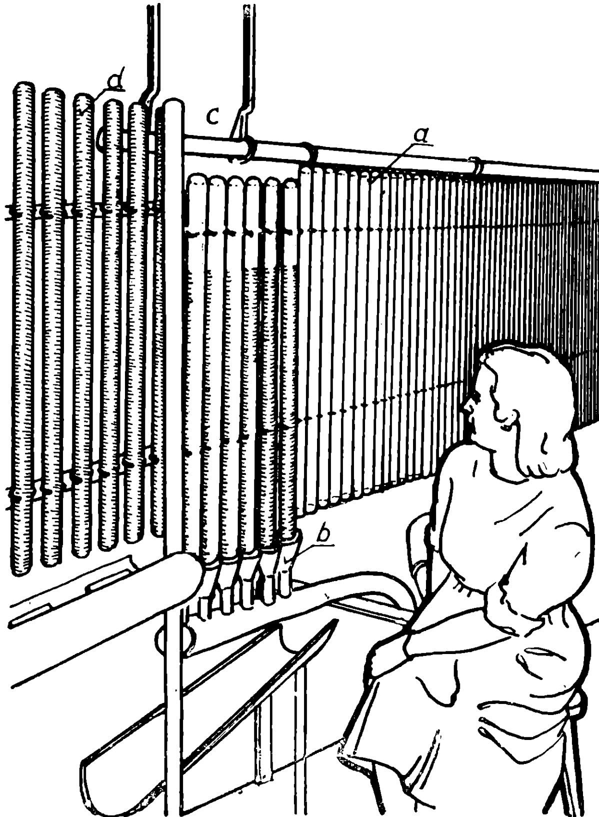


Abb. 1 Teilansicht des Wasch- und Beschlämmbandes

a) gewaschener und getrockneter Kolben
b) Beschlämmstutzen
c) Beschlämmvorgang (Aufsteigen der Suspension im Röhrenkolben)
d) fertig beschlämmter Röhrenkolben

Auf einem kombinierten Wasch- und Beschlämmband werden die vom Glaswerk angelieferten Röhrenkolben zunächst mit heißem Wasser sauber gewaschen und in einer Heißluftkammer getrocknet. Beim Einsetzen der Kolben in das Transportband sind die Kolben vor dem Waschen gewissenhaft auf Risse, Sprünge, Knoten im Glas usw. zu überprüfen, um einen unnötigen Verbrauch des teuren Leuchtstoffes möglichst zu vermeiden.

Nun wird die innere Wand des Röhrenkolbens mit einer Leuchtstoffschicht überzogen, indem man in einem Aufwärtsfließverfahren den vorher mit einer Nitrozellulose aufbereiteten Leuchtstoff, in der Fachsprache „Suspension" genannt, in den Kolben aufsteigen und langsam wieder ablaufen läßt. In einem Trockenraum wird die Leuchtstoffschicht durch Warmluft allmählich getrocknet. Anschließend wird die im Kolben haften gebliebene Leuchtstoffschicht kontrolliert, denn die Lichtausbeute

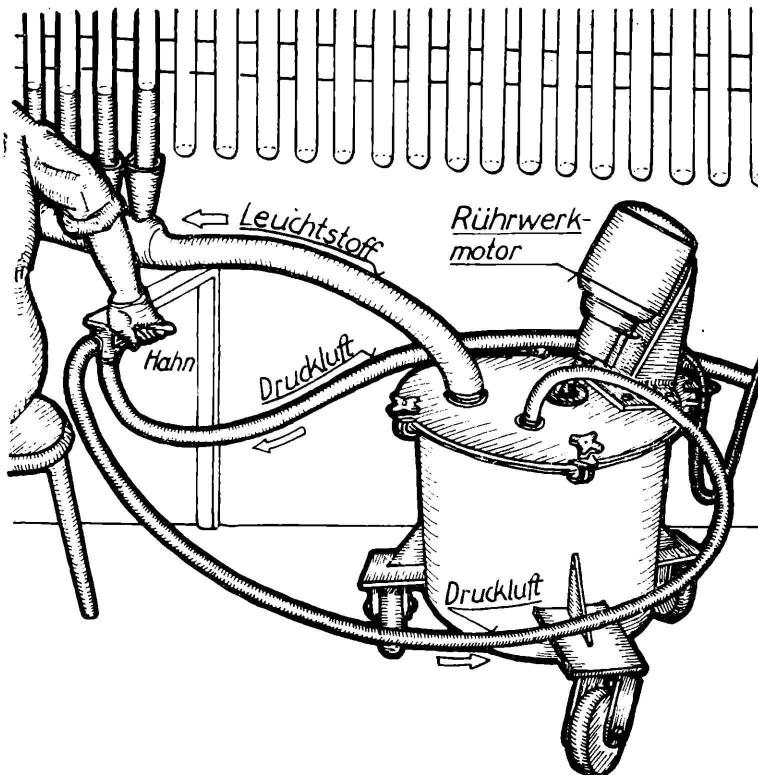


Abb. 2 Vorratsbehälter für die Leuchtstoff-Suspension

einer Leuchtstofflampe ist mit abhängig von der Dicke der im Kolben aufgebrachten Leuchtstoffschicht.

Das ist leicht verständlich. Bei einer dünnen Schicht, in der zwischen den Leuchtstoffkörnern noch Öffnungen bleiben, kann ultraviolette Strahlung (auf deren Bedeutung wir später noch eingehen) im Glas verschwinden, ohne in sichtbares Licht umgewandelt zu sein und die Lichtausbeute ist gering.

Machen wir die Schicht dicker, dann nimmt die Menge des nicht umgewandelten U.V. (= ultraviolette Strahlung) ab und die Lichtausbeute zu. Machen wir die Schicht noch dicker, dann verringert sich die Lichtausbeute wieder, da eine Zerstreuung des sichtbaren Lichtes eintritt.

Um eine möglichst große und gleichbleibende Lichtausbeute zu erhalten, muß also die Dicke der Leuchtstoffschicht möglichst gleichmäßig sein und ständig kontrolliert werden.

Die Kolben werden nun auf einem entsprechenden Ofen stark ausgeheizt (ca. 480° C), um die sich im Leuchtstoff befindlichen und für die spätere Funktion der Leuchtstofflampe schädlichen Lösungsmittel und den Nitrozellulosebinder völlig zu entfernen. Bei dieser Gelegenheit wird jeder Kolben mit einem Stempel versehen, der Auskunft über die Lampentype, die Farbe und die Herstellungszeit gibt. Hierbei muß unbedingt

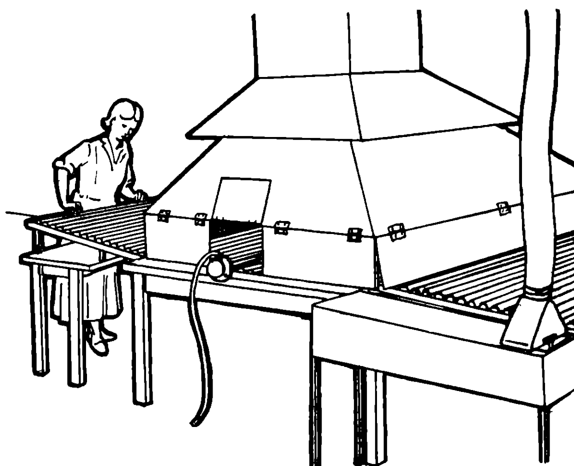


Abb. 3 Ausbrennofen für Leuchtstofflampenkolben

a) Einlegen und Stempeln der beschlämmten Kolben

b) Ausbrennen der beschlämmten Kolben
Heizzone des Ausbrennofens mit Thermoelement zur Temperaturkontrolle

c) Auslauf des Ausbrennofens

auf die Einhaltung der vorgeschriebenen Temperaturen geachtet werden, da ein zu starkes Ausheizen zur Verformung der Kolben, ein zu schwaches Ausheizen zu fehlerhaften Schichten (Gelbfleckigkeit) führt. In beiden Fällen werden wertvolle Materialien und Arbeitszeit vergeudet.

Die Röhrenenden werden nun von der Leuchtstoffschicht befreit. Hierbei müssen die vorgeschriebenen Auswischmaße unbedingt eingehalten und die Auswischung sauber durchgeführt werden. Die Nichteinhaltung der Auswischmaße führt zu falschen Baulängen (zu kurze oder zu lange Lampen), unsauberes Auswischen führt zu Löchern bei der weiteren Verarbeitung und damit zu erhöhtem Materialmehrverbrauch und Ausschuß.

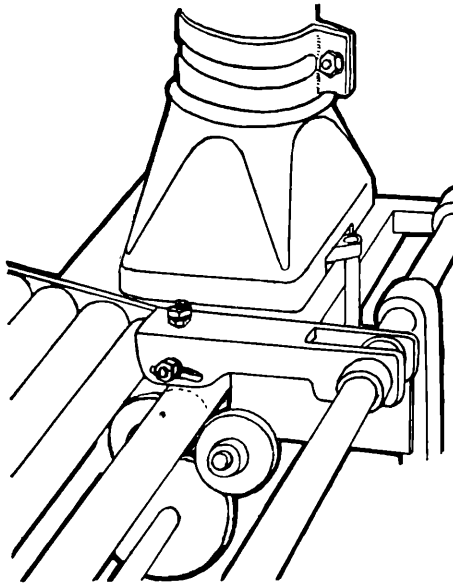


Abb. 4 Automatische Auswischvorrichtung mit Absaugung zum Auswischen des Leuchtstoffes an den Röhrenenden

Die Herstellung der Elektroden

In der Glühlampe fließt der elektrische Strom durch einen zwischen zwei Polen ausgespannten dünnen Wolframdraht (Wendel) und bringt ihn zum Glühen. Zwischen den Stromzuführungspunkten (Polen) besteht also eine elektrische leitende metallische Verbindung.

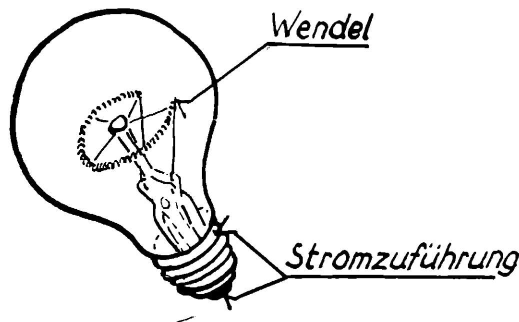


Abb. 5 Glühlampe mit angedeuteten Stromzuführungen

Bei der Leuchtstofflampe ist der Vorgang der Lichterzeugung wesentlich komplizierter, da die elektrisch leitende Verbindung fehlt und demzufolge erst geschaffen werden muß. Eine wichtige Aufgabe übernehmen dabei die Elektroden. Die Aufgabe der Elektroden besteht im Erleichtern des Stromüberganges von dem metallenen Leiter zum Edelgas und umgekehrt.

Im Allgemeinen unterscheidet man bei den Elektroden der Leuchtstofflampe zwischen Anode (= positiv) und Katode (= negativ). Bei Wechselstrombetrieb, mit dem wir es ja überwiegend zu tun haben, ist jede Elektrode abwechselnd Katode und Anode. Aus diesem Grunde sind auch beide Elektroden gleich ausgeführt.

Auf einer Fußmaschine werden zunächst die Füße hergestellt. So ein Fuß besteht aus einem Tellerrohr, zwei Stromzuführungen, einem Kappenhalterdraht und einem Pumpenstengel. Es werden Füße **mit** und **ohne** Pumpstengel hergestellt. Damit die Lampe bei den folgenden Arbeitsgängen luftleer gepumpt (evakuiert) und entsprechend gefüllt (mit Argon und Quecksilber) werden kann, ist ein Fuß mit einem Pumpstengel versehen, der zweite ohne.

Da beim Verschmelzen des Glases (Tellerrohr) mit Metall (Stromzuführungen) starke Spannungen im Glas auftreten können, werden die Füße von der Fußmaschine in einen sogenannten Temperofen übergesetzt, den sie langsam durchlaufen. Am Einlauf des Temperofens herrscht eine Temperatur von nahezu 500° C. In Etappen von 360° C, 220° C bis ca. 50° C am Auslauf des Temperofens werden die Füße allmählich abgekühlt. Man bezeichnet diesen Vorgang mit Tempern.

Anschließend werden die Füße eingehend auf etwaige Spannungen, Risse oder Haarsprünge, auf die Einbettung des Drahtes im Glas, auf die Anzahl der Stromzuführungen, das Vorhandensein des Kappenhalterdrahtes, den Sitz des Pumpstengels, die erfolgte Aufblasung des Pumpstengelloches und auf die Festigkeit des Pumpstengels nach dem völligen Erkalten des Fußes kontrolliert.

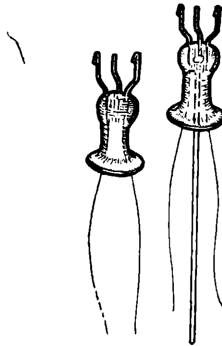


Abb. 6
a) Fuß ohne Pumpstengel
b) Fuß mit Pumpstengel

Die kontrollierten Füße gelangen nun in die Fußmontage. Zwischen den Stromzuführungen des Fußes wird eine Wolfram-Doppelwendel gespannt, die mit einer Oxydschicht bedeckt wird. Diese Oxydschicht erleichtert bei Inbetriebnahme das Zünden und Brennen der Leuchtstofflampe. Damit die auf der Wolfram-Doppelwendel befindliche Oxydschicht während des Brennens nicht sofort zerstört wird, was zu einem vorzeitigen Ausfall der Leuchtstofflampe führen würde, wird die Wendel von einem nicht mit Oxydpaste versehenen Metallstreifen der Kappe bzw. dem Abschirmblech, umgeben.

Man bezeichnet diesen gesamten Aufbau mit „Gestelle", die mit Oxydpaste umhüllte Wolframdoppel-Wendel als „Elektrode".

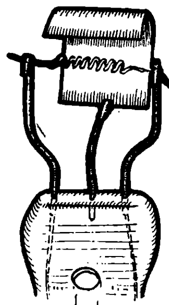


Abb. 7
Fertig montiertes Gestell mit Wo-Doppelwendel und Abschirmblech

Da die Elektroden die Betriebsdauer der Leuchtstofflampe entscheidend beeinflussen, müssen die Arbeitsvorschriften beachtet und genauestens eingehalten werden. Es kommt hier im Besonderen darauf an, daß nicht zu viel Oxydpaste auf die Doppelwendel aufgetragen wird, weil sich die Paste bei der weiteren Behandlung unter Umständen nicht restlos in reines Oxyd umwandelt und die Elektroden dann später nachgasen. Die Viskosität der Paste muß unbedingt eingehalten und deshalb mehrmals am Tag überprüft werden.

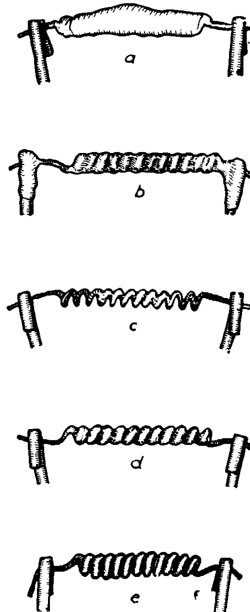


Abb. 8

a) **Falsch:** Emissionsmasse zu dick aufgetragen. Es besteht die Gefahr des starken Abplatzens. Dadurch Oxydmangel.

b) **Falsch:** Die Halterungen dürfen nicht mit Emissionsmasse behaftet sein. Dadurch entsteht ein Nachgasen, dieses führt zu Zündschwierigkeiten.

c) **Falsch:** Einige Windungen wurden nicht mit Emissionsmasse benetzt. Folge: Verkürzung der Lebensdauer.

d) **Noch richtig:** Der Primär- und Sekundärschlauch der Wolframdoppelwendel ist gefüllt. Der Sekundärschlauch braucht bzw. soll möglichst nicht gefüllt sein. Emissionsmasse etwas verdünnen.

e) **Richtig:** Die Wolfram-Doppelwendel ist gleichmäßig mit Emissionsmasse versehen.
Nur der Primärschlauch ist gefüllt.

Unter Viskosität versteht man in unserem Fall das Flüssigkeitsverhalten der Oxydpaste. Ist die Viskosität schlecht, wird die Oxydpaste zu dünn- oder zu dickflüssig. Beides hat erhebliche Nachteile.

Zu dünne Oxydpaste verringert die auf die Doppelwendel aufzubringende Oxydmenge und setzt damit die Lebensdauer der Leuchtstofflampe herab. Zu dicke Oxydpaste neigt gerne zum Abplatzen von der Wendeloberfläche während der folgenden Arbeitsgänge und beeinflußt die Lebensdauer der Leuchtstofflampe ebenfalls negativ.

Alle Windungen der Doppelwendel müssen gleichmäßig mit Oxydpaste benetzt sein, die sogenannten Schwänze müssen jedoch frei bleiben. Die Abschirmbleche dürfen nicht die Wendel berühren, da sie dann einen Teil der Wendel elektrisch kurzschließen und somit die Elektrode zerstören.

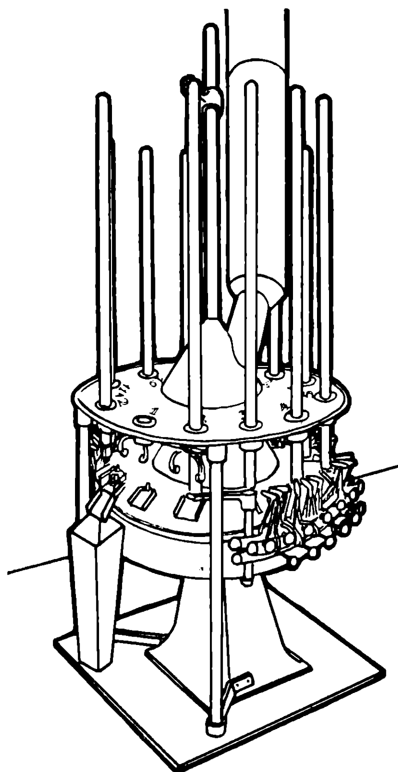


Abb. 9 Gesamtansicht einer 12teiligen Einschmelzmaschine

Das Einschmelzen der Lampen

Auf einer Spezial-Einschmelzmaschine werden die Gestelle an beiden Seiten in den mit Leuchtstoff beschlämmten, ausgebrannten und ausgewischten Röhrenkolben eingeschmolzen. An die eine Seite kommt ein Gestell mit einem Pumpstengel, durch den die Lampe später mit der Pumpleitung verbunden werden kann.

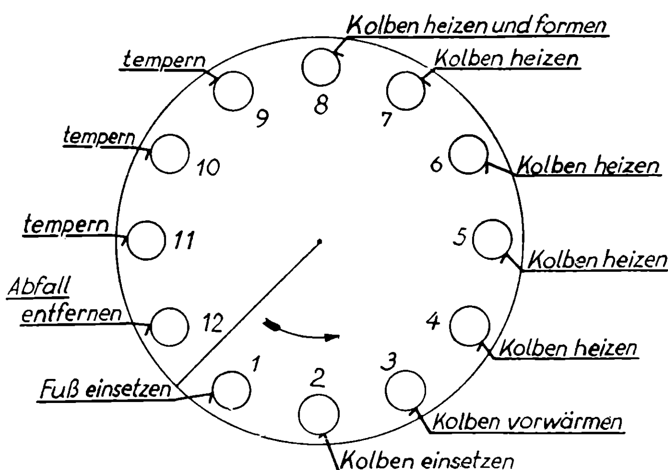


Abb. 10 Der Einschmelztisch mit Bezeichnung der auf den einzelnen Stellungen durchgeführten Arbeitsgänge

Zwecks Vermeidung von Ausschuß ist hier auf die Verwendung der richtigen Gestelle zu achten. Da alle Lampentypen an dieser Maschine eingeschmolzen werden, muß zwischen 20 Watt-, 25 Watt-, 40 Watt- und 65 Watt-Gestellen unterschieden werden. Verwechselungen führen zur vorzeitigen Zerstörung oder zum Total-Ausfall der Lampen. Darüber hinaus muß auf Einschmelzfehler, wie Tellersprünge, Pumpstengelbrüche, verbrannte Sockelleitungsdrähte, Löcher an der Einschmelzung, Kolbensprünge oder Kolbenrisse und dergleichen geachtet werden.

Kontrollfragen

Um unser bisher erarbeitetes Wissen selbst überprüfen zu können, stellen wir uns folgende Kontrollfragen:

1. Welche Vorteile bietet die Verwendung von Leuchtstofflampen?
2. Worauf ist am Wasch- und Beschlämmband zu achten?
3. Wie wird die Leuchtstoffschicht im Röhrenkolben aufgebracht?

4. Worauf ist beim Ausbrennen des Bindemittels zu achten und welche Fehler zieht die Nichteinhaltung der hierfür geltenden Arbeitsvorschriften nach sich?
5. Worauf hat die Kontrolle an der Fußmaschine zu achten?
6. Was muß man bei der Herstellung der Gestelle und Elektroden beachten?
7. Was hat die Kontrolle an der Einschmelzmaschine für Aufgaben?

Das Pumpen, Füllen und Einbrennen der Lampen

Die Lampe ist nun so weit, daß sie gepumpt werden kann. Zu diesem Zweck wird sie mit dem Pumpröhrchen in die Pumpstutzen eingesetzt und an die Pumpe angeschlossen. Während des Luftleerpumpens (Evakuierens) wird die Lampe unter einem Ofen erhitzt, um eventuell im Kolben haftende Feuchtigkeit verdampfen zu lassen. Anschließend werden die Wendeln (Elektroden) geglüht, um die als Karbonat aufgebrachte Oxydpaste in reines Oxyd umzuwandeln. Bei dieser Gelegenheit entweicht aus dem Karbonat CO_2 (Kohlendioxyd), das für die Funktion der Leuchtstofflampe äußerst schädlich ist und wird abgepumpt. Nach dem Glühen der Wendeln (Elektroden) müssen die Lampen nochmals der Arbeitsvorschrift entsprechend nachgepumpt werden. Dann wird die Leuchtstofflampe mit etwa 2,5 Torr Argon (Edelgas) und annähernd 50 mg Hg (Quecksilber) gefüllt und von der Pumpe abgeschmolzen.

Die Qualität der Leuchtstofflampen wird gerade von diesen Arbeitsgängen wesentlich beeinflußt und es ist unbedingt erforderlich, daß die hierfür geltenden Arbeitsvorschriften genauestens eingehalten werden.
Was beinhalten nun diese Arbeitsvorschriften im Wesentlichen und wie wirkt sich die Nichteinhaltung dieser Vorschriften aus?

Die Arbeitsvorschrift für das Pumpen und Füllen der Leuchtstofflampen legt im Wesentlichen die Pump- und Heizzeit, die Heiztemperatur, die Formierzeit (das ist die Glühzeit der Elektroden), die Glühtemperatur der Elektroden und die zu füllende Argon- und Quecksilbermenge fest. Es ist leicht verständlich, daß die Glühlampe gut evakuiert (luftleer gepumpt) werden muß, weil sonst die Wendel der Glühlampe sofort, zumindest aber sehr schnell, durchbrennen würde. Das gilt selbstverständlich auch für die Leuchtstofflampe, wobei noch besonders zu beachten ist, daß die Leuchtstofflampe ja nach dem Luftleerpumpen mit Edelgas gefüllt wird und dieses Edelgas nicht mehr den erforderlichen Reinheitsgrad besitzen würde, wenn noch Luft im Lampenrohr vorhanden wäre. Es ist weiterhin verständlich, daß man für jede Arbeit eine bestimmte Zeit benötigt, wenn man sie gewissenhaft und gründlich ausführen soll und will. Da die Vakuumpumpe in einem bestimmten Zeitraum ebenfalls nur eine bestimmte Menge Luft aus der Leuchtstoffröhre absaugen kann, benötigen wir eine genau begrenzte Zeit, um die gewünschte Luftleere in der Lampe zu erhalten.

Wie wir alle wissen, besitzt unsere Luft einen mehr oder weniger großen Anteil an Feuchtigkeit. Der Ansager im Rundfunk spricht in seinem

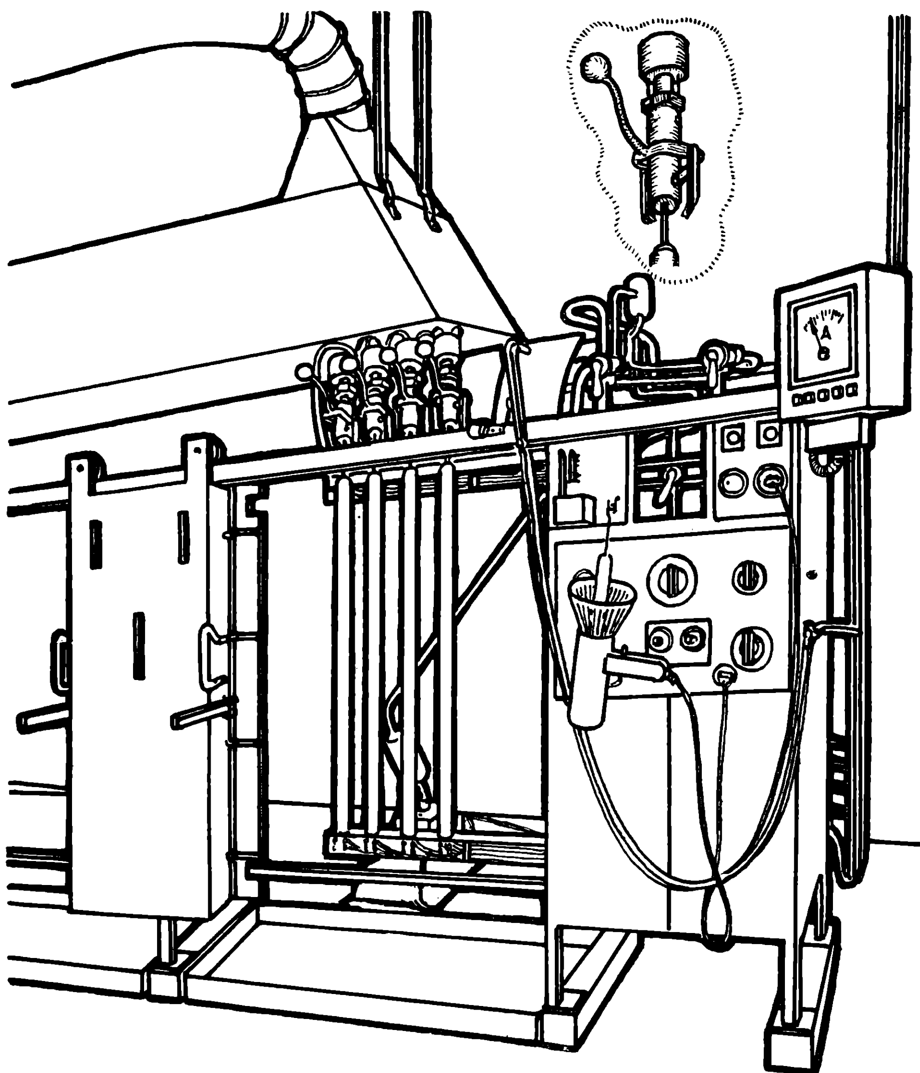


Abb. 11 Gesamtansicht eines Handpumpstandes

a) Eingesetzte Leuchtstofflampen
b) Pumpstutzen
c) Heizofen
d) Amperemeter zur Kontrolle des Formierstromes
e) Vakuumprüfgerät (Tesla)
f) Manometer für den Argonfülldruck
g) Absaugung

Wetterbericht dann von der relativen Luftfeuchtigkeit und gibt sie in Prozenten an. Diese Luftfeuchtigkeit befindet sich natürlich auch in unseren Leuchtstofflampen und ist außerordentlich schädlich.

Deshalb müssen die Leuchtstofflampen während des Pumpens bis etwa 420° C erwärmt werden, damit die Feuchtigkeit verdampft und ebenfalls abgepumpt werden kann. Es ist klar, daß auch hierzu eine bestimmte Zeit erforderlich ist, die keinesfalls unterschritten werden darf. Die Zeit und die Höhe der Temperatur spielt also bei den Pump- und Glühvorgängen eine entscheidende Rolle.

Beim Füllen der Lampen dagegen muß auf die richtige Menge geachtet werden. Zuviel Edelgas führt zu Schwierigkeiten beim Zünden der Leuchtstofflampe, zu wenig Edelgas verringert ihre Lebensdauer. Zuviel Quecksilber führt zu Quecksilberablagerungen an der inneren Kolbenwand und damit zu Fleckenbildungen, zu wenig Quecksilber verringert die Lichtabgabe der Lampe.

Damit wollen wir dieses Thema zunächst abschließen.

Die sorgfältig gepumpten Leuchtstofflampen werden nun an Hochspannung angeschlossen und einige Zeit eingebrannt, weil erstens die Zündspannung der Leuchtstofflampen anfangs noch etwas zu hoch ist und zweitens die frisch gepumpten und gefüllten Lampen im Anfang etwas unruhig brennen.

Darüber hinaus dient das Einbrennen in gewissem Umfang als Fertigungskontrolle, weil man an dieser Stelle die eben besprochenen Fehler überwiegend erkennen und demzufolge auch durch entsprechende Hinweise sofort beseitigen kann.

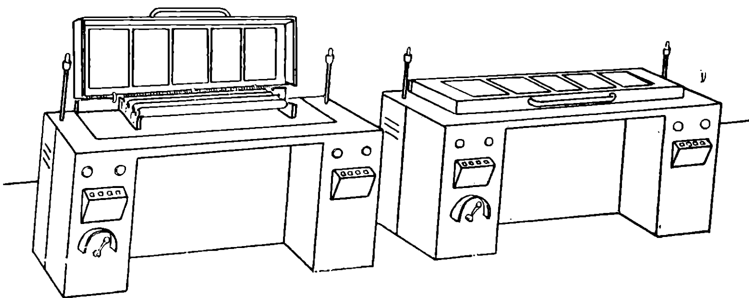


Abb. 12 Hochspannungseinbrenntisch

a) Gesamtansicht

b) Mit geöffnetem Deckel und eingelegten Lampen. Kontakt schließt erst nach Schließen des Deckels.

Die Endfertigung der Leuchtstofflampe

Die vorher mit einer bestimmten Menge Kitt versehenen Sockel werden nun auf den Lampenenden befestigt und in einer Sockelvorrichtung innig mit dem Glas verbunden. Die aus den Sockelstiften herausragenden Sockelleitungsdrähte werden abgeschnitten und die Stifte verlötet. Hierbei ist besonders darauf zu achten, daß die Sockel gerade auf den

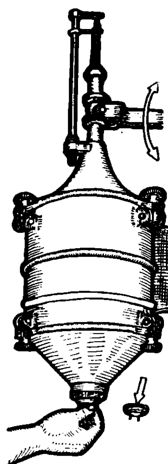


Abb. 13 Kitteinstreichmaschine mit Sockel

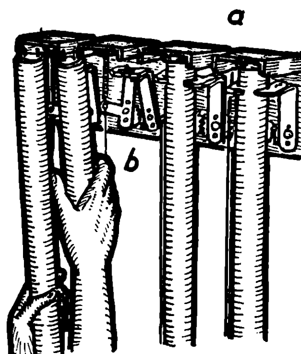


Abb. 14 Teilansicht der Sockeleinrichtung

a) Sockel-Heizöfen

b) Zentrierstücke für die Aufnahme der Leuchtstofflampen

Lampenenden befestigt sind, daß die Sockelstifte eine Richtung haben, die Sockelleitungsdrähte sich nicht überkreuzen oder berühren, die Sockel richtig fest sind, die Sockelleitungsdrähte mit dem Stift einwandfrei verlötet sind.

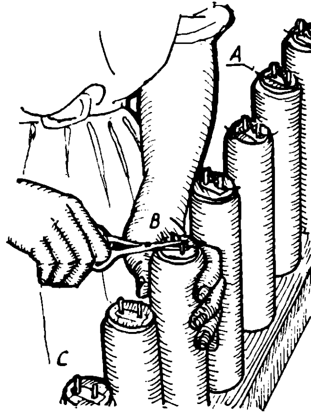


Abb. 15 Das Entfernen der Sockelleitungsdrähte nach dem Sockeln

a) Die herausragenden, umgebogenen Sockelleitungsdrähte
b) Das Entfernen der herausragenden Sockelleitungsdrähte
c) Die fertige Lampe

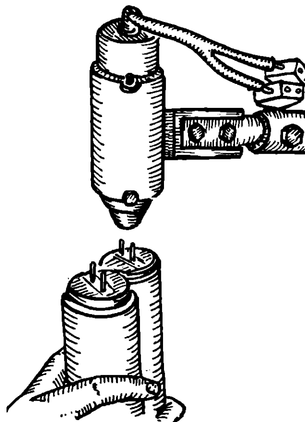


Abb. 16 Das Verlöten der Sockelstifte

Überkreuzte oder sich berührende Sockelleitungsdrähte schließen die Elektrode elektrisch kurz, Stiftstellungen machen die Lampe unbrauchbar, weil sie sich nicht in die Fassung einsetzen läßt, fehlerhafte Lötstellen führen zu schlechter Kontaktgabe.

Die gesockelten und gelöteten Leuchtstofflampen werden nun an einer Klarbrennmaschine wiederholt gezündet, gebrannt und somit einer eingehenden Funktionskontrolle unterzogen. Dabei werden auftretende Funktionsfehler erkannt und aussortiert.

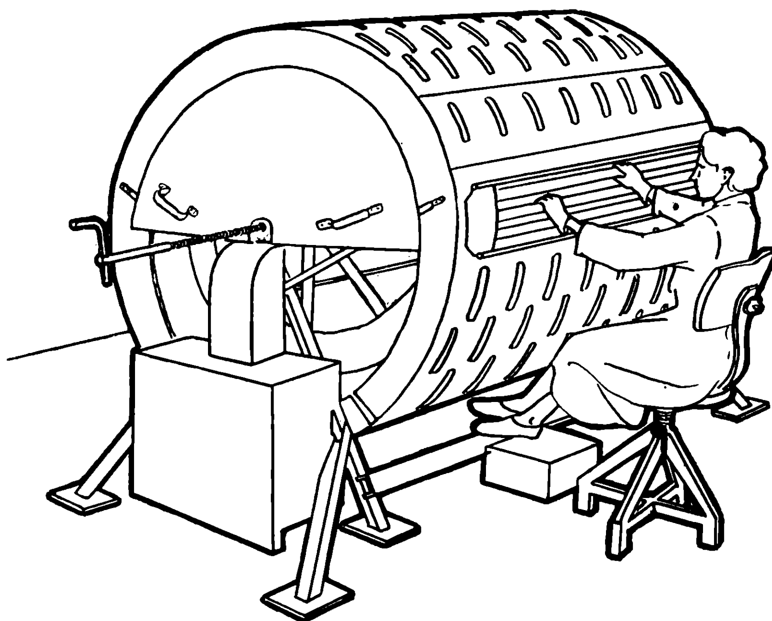


Abb. 17 Gesamtansicht der Klarbrennmaschine

Anschließend werden die Lampen von der Gütekontrolle noch einmal auf etwaige äußere Mängel überprüft, dann gereinigt und schließlich verpackt.

Kontrollfragen

8. Worauf ist beim Pumpen und Füllen der Leuchtstofflampe zu achten?
9. Welche Fehler beeinflussen die Qualität der Leuchtstofflampe bei Nichteinhaltung der Arbeitsvorschriften?
10. Weshalb müssen Leuchtstofflampen nach dem Pumpen und Füllen zunächst an Hochspannung eingebrannt werden?
11. Welche Fertigungsfehler können beim Sockeln der Leuchtstofflampe auftreten und welche Folgen haben diese?
12. Warum werden die Lampen klargebrannt?
13. Fassen Sie die Arbeitsgänge zusammen, die zur Herstellung der Leuchtstofflampe erforderlich sind.

Das Prinzip der Gasentladung

Die Gasentladungslampe besteht aus einem luftdicht verschmolzenen, gasgefüllten, in unserem Fall mit dem Edelgas Argon, gefüllten Glasrohr, in dem Elektroden (Anode = Pluspol[1]), Katode = Minuspol[2]) eingeführt sind.

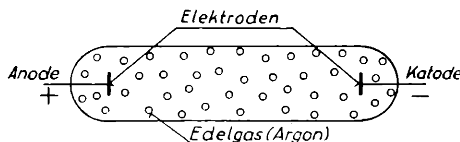


Abb. 18 Glasrohr mit eingeschmolzenen Elektroden und Edelgasfüllung

Zwischen den Stromzuführungspunkten (Elektroden) besteht, wie bereits besprochen, keine elektrisch leitende Verbindung. Edelgase gehören im Allgemeinen zu den Nichtleitern. Um nun durch das Gas einen Strom fließen lassen zu können, müssen erst einmal Elektronen erzeugt werden.

Was ist ein Elektron?

Unvorstellbar klein ist ein Atom. Selbst ein winziges Staubkorn, gerade noch für uns sichtbar, besteht aus Milliarden von Atomen. Die griechischen Naturphilosophen haben die kleinsten Materie-Teilchen als Atome (a tomos = das Unteilbare) bezeichnet.

Das Atom besteht im Wesentlichen aus dem Atomkern und aus Elektronen, die den Atomkern umkreisen. Der Kern ist elektrisch positiv (+), die ihn umkreisenden Elektronen sind elektrisch negativ (—) geladen. Je nach der Art des Grundstoffes (z. B. Aluminium, Eisen, Kupfer, Gold, Silber u. a.) ändert sich der Atomaufbau. Immer werden dann mehr oder weniger Elektronen den entsprechend veränderten Kern umkreisen.

Der Kern des Argonatoms z. B. wird von 18 Elektronen, der Kern des Quecksilberatoms von 80 Elektronen umkreist.

Bemerkenswert hierbei ist, daß sich die positive Ladung des Kerns mit der negativen Ladung der Elektronen immer so die Waage hält, daß das gesamte Atom nach außen hin elektrisch neutral erscheint. Das einfachste Atom ist das Wasserstoffatom. Es besteht aus dem positiven Kern, der von 1 Elektron umkreist wird:

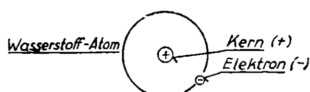


Abb. 19

Die Wissenschaft hat inzwischen bewiesen, daß das Atom nicht unteilbar und folglich auch nicht der kleinste Baustein der Materie ist. Es galt nun, die wirklichen Bausteine der Materie, die Bausteine der Atome zu finden. Einer dieser Bausteine ist das Elektron.

Der Name Elektron stammt ebenfalls aus dem Griechischen und ist dort die Bezeichnung für Bernstein. Bernstein bekommt besondere Eigenschaften, wenn man es reibt. Es wird „elektrisch". Daher kommt auch die uns so geläufige Bezeichnung Elektrizität und das kleinste Teilchen der Elektrizität ist das elektrisch negativ geladene Elektron.

Die Gasentladung

Legen wir an die Elektroden der Gasentladungslampe eine Gleichspannung, dann geraten die im gasgefüllten Glasrohr vorhandenen freien Elektronen in Bewegung. Da die Elektronen elektrisch negativ geladen

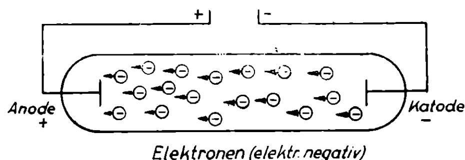


Abb. 20

sind, werden sie von der **positiven Elektrode** (Anode) **angezogen** und von der **negativen Elektrode** (Katode) **abgestoßen.** Da wir die Glasröhre mit dem Edelgas „Argon“ gefüllt haben, stoßen die Elektronen auf ihrem Weg zur Anode auf die zahlreich vorhandenen Gasatome (die elektrisch neutral, also nicht leitend sind) und versetzen das Gasatom gewissermaßen in Schwingungen. Die Geschwindigkeit (Bewegungsenergie) der Elektronen hängt wesentlich von der Höhe der an die Elektroden angelegten Spannung ab, denn es dürfte klar sein, je höher die Spannung, um so stärker werden die Elektronen von der Anode angezogen und um so schneller bewegen sie sich zur Anode hin. Ist die Geschwindigkeit der Elektronen groß genug, dann können sie aus dem Gasatom ein gebundenes Elektron herausschleudern.

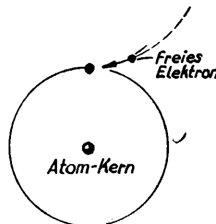


Abb. 21

Aus dem elektrisch neutralen Atom wird ein elektrisch positiver Atomrest, ein sogenanntes Ion. **Ein Ion ist also ein elektrisch positiv geladener Gasatomrest und bewegt sich grundsätzlich zur Katode hin.** Dieser Vorgang beschränkt sich in der Praxis natürlich nicht auf ein Gasatom, sondern auf Tausende und man bezeichnet diesen Vorgang als Ionisation. Prallen die Ionen auf die Katode, so ziehen sie aus der Katode neue Elektronen heraus, die sich wiederum an dem eben beschriebenen Vorgang der Ionisation beteiligen. **Elektronen und Ionen sind also elektrische Ladungsträger und stellen in der Gasentladungslampe die gewünschte elektrisch leitende Verbindung zwischen den Elektronen her.**

Während der immer weiter ansteigenden Ionisation entsteht zunächst die sogenannte Glimmentladung, die schließlich in die gewünschte Bogenentladung übergeht.

Die Aufgabe des Quecksilbers in der Leuchtstofflampe

Quecksilber ist das einzige Metall, das flüssig ist und bekanntlich schon bei Zimmertemperatur verdampft. Die Möglichkeit der Lichterzeugung durch elektrische Entladung in Gas und Dämpfen, auch in Quecksilberdämpfen, wurde von den Physikern schon vor einer Reihe von Jahren erkannt, untersucht und weiter entwickelt.

Das Licht der Leuchtstofflampe entsteht dadurch, daß Leuchtstoffe durch ultraviolette Strahlung zum Leuchten angeregt werden.

Alle Entladungen im Quecksilberdampf erzeugen nun in Abhängigkeit vom Dampfdruck mehr oder weniger ultraviolette Strahlen.

Die Herstellung einer wirtschaftlichen Lichtquelle, die, wie bei der Leuchtstofflampe, auf Strahlungsumwandlung beruht, setzt also die Erzeugung einer möglichst großen Menge ultravioletter Strahlung voraus. Die Physiker stellten schließlich fest, daß bei einer Quecksilber-Niederdruck-Dampfentladung die Ausbeute an ultravioletter Strahlung außerordentlich hoch ist. Damit ist die Aufgabe des Quecksilbers in der Leuchtstofflampe umrissen.

Was sind ultraviolette Strahlen und wie werden sie in der Leuchtstofflampe erzeugt?

Die ultravioletten Strahlen sind kurzwellige Lichtstrahlen, die für das menschliche Auge überwiegend unsichtbar sind. Bei der Erzeugung der für die Leuchtstofflampe erforderlichen ultravioletten Strahlung gehören 60 Prozent dem unsichtbaren Ultraviolett-Bereich an, 38 Prozent sind Wärmestrahlung und 2 Prozent sind sichtbares Licht.

In der Leuchtstofflampe spielen sich nun folgende Vorgänge ab: Ein Quecksilberatom besteht aus dem Atomkern, der von 80 Elektronen rasend schnell umkreist wird. Der sich in der Leuchtstofflampe bildende Quecksilberdampf besteht aus Milliarden von Atomen. Wie wir nun bereits wissen, werden von den Elektroden der Leuchtstofflampe wechselweise Elektronen ausgesandt, die mit sehr hoher Geschwindigkeit durch das Rohr der Lampe fliegen. Auf diesem Weg stoßen die Elektronen mit Wucht auf Quecksilberatome. Beim Zusammenprall eines freifliegenden Elektrons mit einem Elektron des Quecksilberatoms, wird dieses vorübergehend aus seiner den Atomkern umkreisenden Bahn geschleudert.

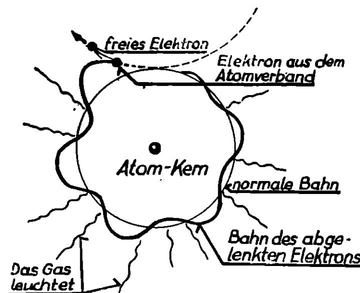


Abb. 22

Es kehrt aber nach ganz kurzer Zeit wieder in seine alte Bahn zurück. Während dieser Abweichung gibt das zum Quecksilberatom gehörende Elektron Energie in Form von ultravioletter Strahlung ab. Sowie das zum Quecksilberatom gehörende Elektron wieder auf seiner alten Bahn den Atomkern umkreist, hört die Strahlung auf. Da nun aber gleichzeitig und immer wieder aufs neue Millionen Quecksilberatome von freifliegenden Elektronen in der eben geschilderten Art getroffen werden, tritt die gewünschte Strahlung ständig und innerhalb der ganzen Leuchtstofflampe auf. Da die Innenwand der Leuchtstofflampe völlig mit Leuchtstoff bedeckt ist, der hell aufleuchtet, wenn er von ultravioletten Strahlen getroffen wird, strahlt die Lampe in ihrer ganzen Länge Licht ab.

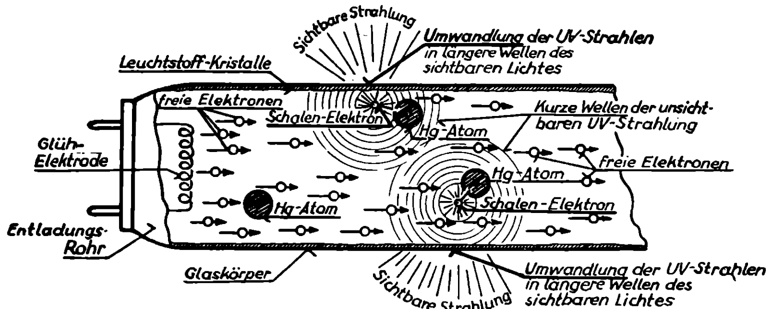


Abb. 23

Das Vorschaltgerät (Drosselspule)

Im Gegensatz zur Glühlampe, die eine sogenannte **positive** oder **steigende** Charakteristik besitzt, hat die Gasentladungslampe eine **fallende** oder **negative** Charakteristik.

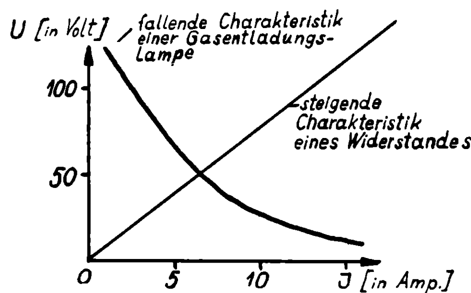


Abb. 24

Was heißt das?

Der Glühfaden (Wendel) einer Glühlampe hat beim Anlegen der für sie bestimmten Versorgungsspannung, z. B. 220 Volt, einen ganz bestimmten elektrischen Widerstand. Dieser Widerstand sorgt dafür, daß der Glühfaden beim Durchfließen des Stromes nur so hoch erhitzt wird, daß er nicht schmilzt oder gar verdampft. Mit anderen Worten, bei gegebener Spannung und gegebenem Widerstand ist die elektrische Leitfähigkeit des Glühfadens so, daß nur eine ganz bestimmte Stromstärke auftreten kann und eine zusätzliche Strombegrenzung nicht erforderlich ist. Anders liegen die Verhältnisse bei der Gasentladungslampe. Mit zunehmender Ionisation wird der elektrische Widerstand einer Gasentladungslampe immer niedriger, die elektrische Leitfähigkeit wird also immer größer und die Stromstärke wächst blitzschnell so hoch an, daß die Lampe zerstört wird, wenn man dieses blitzschnelle Anwachsen des Stromes nicht entsprechend begrenzt bzw. drosselt.

Es gibt mehrere Möglichkeiten der Strombegrenzung. Da die Gasentladungslampen, insbesondere die Leuchtstofflampen überwiegend mit Wechselstrom betrieben werden, benutzt man hier zum Drosseln des Stromes am besten eine Drosselspule. Neben der Strombegrenzung besitzt die Drosselspule noch eine weitere wichtige elektrische Eigenschaft. Sie erzeugt unter bestimmten Voraussetzungen kurzzeitig eine zusätzliche elektrische Spannung. Man sagt, in der Drosselspule wird eine Spannung induziert. Diese kurzzeitige Spannungserhöhung wird zum Zünden der Leuchtstofflampe benötigt.

Es ist nach dem Vorhergesagten wohl klar, daß für jede Lampe ein Vorschaltgerät (Drosselspule) erforderlich ist. Da es, genau wie bei Glühlampen, auch Leuchtstofflampen mit verschiedenen elektrischen Werten gibt, z. B. 20 Watt, 25 Watt und 65 Watt Leuchtstofflampen, muß unbedingt auf die Verwendung der richtigen Drossel geachtet werden. Zur Inbetriebnahme einer 25 Watt Leuchtstofflampe gehört eine 25 Watt Drosselspule, zu einer 40 Watt Leuchtstofflampe eine 40 Watt Drosselspule usw. Die Verwendung eines falschen Vorschaltgerätes führt zur vorzeitigen Zerstörung der Leuchtstofflampe.

Der Glimmzünder

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, sind zur Inbetriebnahme einer Leuchtstofflampe ein Vorschaltgerät zur Strombegrenzung und eine Einrichtung zum Zünden der Lampe erforderlich.

Diese Zündeinrichtung besteht im Prinzip aus zwei Kontakten und einem Bimetallstreifen, der an einem der Kontakte montiert ist. Bi kommt aus dem Lateinischen und bedeutet zwei. Bimetall, das sind zwei verschiedene, nach einem Spezialverfahren zusammengeschweißte oder aufeinander gepreßte dünne Metallbändchen (z. B. Eisen — Nickel). Bei entsprechender Erwärmung dehnt sich das eine Metallbändchen mehr als

das andere. Dadurch kommt eine Verkrümmung zustande. Kühlt das Metallbändchen ab, möchte es in die ursprüngliche Lage zurück und streckt sich wieder. Diese Tatsache nutzt man zum Schließen oder Öffnen von elektrischen Kontakten aus.

Da der in unserem Fall zur Erwärmung des in einem kleinen mit Edelgas gefüllten Glaskolben untergebrachte Bimetallaufbau für eine Glimmentladung benutzt wird, bezeichnet man diese Zündeinrichtung als Glimmzünder.

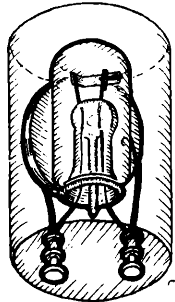


Abb. 25

Die sogenannte Zündspannung des Glimmzünders liegt bei **190** Volt. Mit anderen Worten, bei einer am Glimmzünder anliegenden Spannung von 190 Volt entsteht die zur Erwärmung des Bimetallstreifens erforderliche Glimmentladung.

Wie bereits erwähnt, streckt sich beim Abkühlen der Bimetallstreifen und öffnet die Kontakte. Hierbei entsteht ein sogenannter Öffnungsfunke, wie man ihn z. B. beim Ausschalten eines Schalters, Herausziehen eines Steckers aus der Steckdose usw., beobachten kann. Diese Erscheinung führt zu empfindlichen Störungen, besonders beim Rundfunkempfang. Aus diesem Grunde müssen derartige Störungen nach Möglichkeit vermieden werden. Ein ausgezeichneter Störschutz ist der sogenannte Entstörungskondensator. Er wird parallel zum Glimmzünder geschaltet und in ein gemeinsames Gehäuse eingebaut. Man bezeichnet diese Zündeinrichtung im allgemeinen als „Starter“.

Die Arbeitsweise einer durch eine Drosselspule strombegrenzten Leuchtstofflampe

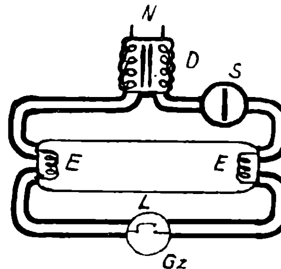


Abb. 26

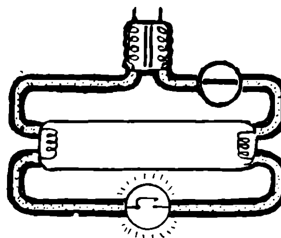
E = Elektroden
L = Leuchtstofflampe
D = Drosselspule
Gz = Glimmzünder
N = Netzspannung 220 V ~ (Wechselstrom)
S = Schalter

Man unterscheidet beim Zündvorgang der Leuchtstofflampe im allgemeinen vier Phasen. Wenn wir uns das obenstehende Schaltbild betrachten, dann erkennen wir zweifellos, daß der Schalter noch geöffnet ist und demzufolge keine Spannung an unserer Lampe liegt.

Wir beginnen nun mit unserer Betrachtung der einzelnen Phasen, die in der Praxis sehr schnell vor sich gehen und ineinander überfließen.

1. Phase

Beim Einschalten (Schließen des Schalters S) liegt der Glimmzünder (Gz) mit geöffneten Kontakten an der Netzspannung (N = 220 V ~). Da die Netzspannung höher ist als die Arbeitsspannung des Glimmzünders, tritt im Glimmzünder eine sogenannte Glimmentladung ein.

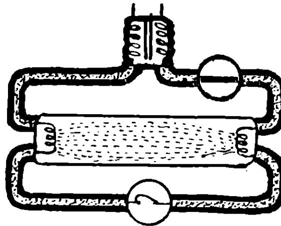


Phase 1

Abb. 27

2. Phase

Infolge der durch die Glimmentladung auftretenden Erwärmung schließt der Bimetallstreifen, der an den einen Kontaktarm des Glimmzünders montiert ist die Kontakte des Glimmzünders und schließt damit auch den bis dahin offenen Stromkreis.



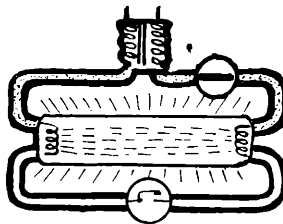
Phase 2

Abb. 28

Die Glimmentladung im Zünder erlischt. Jetzt fließt ein starker Heizstrom durch die Elektroden der Lampe. Der Bimetallstreifen des Glimmzünders kühlt während dieses Vorganges wieder ab.

3. Phase

Der abgekühlte Bimetallstreifen will in seine alte Lage zurück und öffnet dabei ruckartig die Kontakte des Glimmzünders. Die dadurch in der Drossel entstehende kurzzeitige Spannungserhöhung (induzierte Spannung) bewirkt das Zünden (Brennen) der Leuchtstofflampe. (Sollte in Ausnahmefällen die Zündung der Lampe nicht erfolgen, wiederholt sich der Vorgang.)



Phase 3/4

Abb. 29

4. Phase

Der Glimmzünder liegt nun an der Brennspannung der Leuchtstofflampe, die je nach Type zwischen 95 und 117 Volt liegt. Da er damit, wie bereits besprochen, weit unter der Zündspannung der Glimmentladung liegt, ist der Glimmzünder somit ausgeschaltet. Die Kontakte des Glimmzünders bleiben also während des Brennens der Lampe offen (siehe Abb. 3. Phase).

Kontrollfragen

14. Was verstehen wir unter Elektronen?
15. Erläutern Sie die Vorgänge der Gasentladung.
16. Welche Aufgabe kommt dem Quecksilber zu?
17. Was sind ultraviolette Strahlen und in welchem Zusammenhang stehen sie zur Leuchtstofflampe?
18. Warum benötigen wir für die Inbetriebnahme der Leuchtstofflampe ein Vorschaltgerät?
19. Wie arbeitet der Glimmzünder und wozu dient er?
20. Erklären Sie mittels eines Schaltbildes den Zündvorgang der Leuchtstofflampe.

Begriffserklärungen

Lichtstrom Kurzzeichen Φ

Der Lichtstrom ist derjenige Teil der von einem leuchtenden Körper ausgestrahlten Leistung, der vom Auge als Licht empfunden wird.

Die Einheit des Lichtstromes ist das Lumen (Kurzzeichen lm)

Lichtstrom = Leistung des Lichtes

Einheit $\doteq$ Lumen (lm)

Lichtausbeute (Kurzzeichen η)

Die Lichtausbeute ist das Verhältnis des Lichtstromes zur aufgenommenen Leistung.

Die Einheit der Lichtausbeute ist $\frac{\text{Lumen}}{\text{Watt}} = \sqrt{\frac{\text{lm}}{\text{W}}}$ oder auch lm/W

Beispiel:

Eine Glühlampe mit einer Leistungsaufnahme von 100 W hat einen Lichtstrom von 1450 lm.

Die Lichtausbeute (η) beträgt dann

$$\eta = \frac{1\,450\,\text{lm}}{100\,\text{W}} = 14{,}5\,\frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

Lichtausbeute = Lichtstrom je Watt

Einheit = lm/W

Leuchtdichte (Kurzzeichen sb)

Die Leuchtdichte einer Lichtquelle ist dafür entscheidend, ob sie bei direkter Betrachtung mehr oder weniger angenehm empfunden wird, d. h. geringere oder stärkere Blendung der Augen hervorruft.

Die Einheit der Leuchtdichte ist das Stilb (sb).

Leuchtdichten von 0,3 bis 0,4 Stilb sind außerhalb der sogenannten Blendungsleuchtdichte.

Leuchtstofflampen haben aus diesem Grunde auch wesentlich größere Abmessungen als Glühlampen gleicher Leistung.

Die Leuchtdichte einer Leuchtstofflampe beträgt 0,3 bis 0,4 sb, die einer Glühlampe etwa 500 sb.

Lebensdauer:

Unter der Lebensdauer versteht man die Dauer der Funktionsfähigkeit der Leuchtstofflampen in Stunden.

Suspension

Vermischung kleiner Farbstoffteilchen (Leuchtstoffteilchen) mit einer Flüssigkeit.

Ultra-Violett-Strahlung (UV)

UV-Strahlen sind Strahlen, die im sogenannten Spektrum (das ist das Farbband des Lichtes nach seiner Zerlegung, z. B. Regenbogen) jenseits von Violett liegenden kürzeren, unsichtbaren Strahlen, die sich bis zu den Röntgenstrahlen erstrecken.

Elektroden

Unter Elektroden verstehen wir die mit einer Oxydpaste versehenen Wolfram-Doppelwendeln.

Evakuieren

Evakuieren bedeutet ein Vakuum, d. h. einen luftleeren Raum erzeugen.

Argon (chem. Zeichen Ar)

Argon ist ein Edelgas. Es ist in der Luft enthalten und wird überwiegend durch Luftzerlegung gewonnen.

In 100 Liter Luft, d. s. 100 000 Kubikzentimeter, sind 932 Kubikzentimeter Argon enthalten.

Quecksilber (chem. Zeichen Hg)

Quecksilber ist ein chemischer Grundstoff und als einziges Metall bei Zimmertemperatur flüssig. Vielseitige Verwendungsmöglichkeiten. Ein elektrischer Entladungsstrom durch Quecksilberdampf regt die Quecksilberatome zur Bildung von ultra-violetten Strahlen an.

Sockel

Teil der Lampe, der in der Fassung die elektrische Verbindung mit dem Versorgungsstromkreis herstellt.

Sockelleitungsdraht

Äußerer Teil der Stromzuführung, der mit den Sockelstiften verlötet ist.

Literaturnachweis

Bei der Erarbeitung des Schulungsbriefes wurde folgende Literatur hinzugezogen:

1. Fluoreszenzbeleuchtung
   Prof. Dr. C. Zwicker
   Philips' Technische Bibliothek 1951

2. Licht und Beleuchtung
   Dr. R. Borchert und Dr. E. Neumann
   Aufbau-Verlag Berlin 1953

3. Lichttechnik
   Dr. Walter Köhler
   Helios-Verlag GmbH, Berlin-Borsigwalde 1952

4. Philips Lehrbriefe 1 und 2
   Gustav Büscher
   Deutsche Philips GmbH, Hamburg 1

(285) B 1235/62 2 1859